

Beskyttelse mod elektrisk stød

Generelle krav.

Pkt. 410.3.2 angiver at en beskyttelsesforanstaltning kan bestå enten af: en kombination af en grundbeskyttelse og en uafhængig fejlbeskyttelse eller en skærpet beskyttelsesforanstaltning der yder både grund- og fejlbeskyttelse, f.eks. forstærket isolation.

Hertil kan komme krav om supplerende beskyttelse, som det f.eks. er i pkt. 411.3.3 samt i bekendtgørelse 1082 § 35 "Supplerende beskyttelse med RCD"

Pkt. 410.3.3 tillader generelt at anvende følgende beskyttelsesforanstaltninger:
automatisk afbrydelse af forsyningen
dobbelt eller forstærket isolation
separat strømkreds til forsyning af et enkelt stykke strømforbrugende materiel
ekstra lav spænding (SELV og PELV)

Hertil kommer beskyttelsesforanstaltninger angivet i pkt. 410.3.5 og 410.3.6, der kan anvendes under visse betingelser.

Dette hæftes område dækker ikke disse beskyttelsesforanstaltninger.

Automatisk afbrydelse af forsyningen

Forudsætningerne for automatisk afbrydelse af forsyningen er angivet i pkt. 411.1, hvor grundbeskyttelse opnås ved grundisolation, barrierer eller kapslinger og fejlbeskyttelse opnås ved potentialudligning og automatisk afbrydelse

Pkt. 411.3.1.1 angiver at alle udsatte ledende dele skal være forbundet til en beskyttelsesleder, der via de relevante jordklemmer er forbundet til den lokale jordelektrode i TT-nettet.

Hvis der forefindes mere end en jordelektrode i en elektrisk installation, der ikke er elektrisk forbundet, skal samtidig tilgængelige udsatte ledende dele være forbundet til den samme jordelektrode.

Dette adskiller sig ikke fra SB6 413.1.4.1.

Pkt. 411.3.1.2 stiller krav om beskyttende potentialudligning, i SB6 413.1.2.1 hed den hovedudligningsforbindelse.

Der skal etableres en beskyttende potentialudligning i enhver bygning og følgende ledere og ledende dele skal være forbundet til den:

jordingslederen

hovedjordklemmen

metalrør til forsyning inde i bygningen, fx gas, vand

fremmede ledende dele i konstruktionen, hvis de er tilgængelige under normal brug,

metalliske fjernvarme- og ventilationssystemer

metalarmering i armeret konstruktionsbeton, hvor armeringen er tilgængelig og pålideligt indbyrdes forbundet.

Forbindelsen til de ledende dele der går ind i bygningen, skal udføres så tæt som muligt på hvor disse ledende dele går ind i bygningen.

Alle metalliske kapper på telekommunikationskabler skal være forbundet til den beskyttende potentialudligning, idet der tages højde for krav fra ejerne eller operatørerne af kablerne.

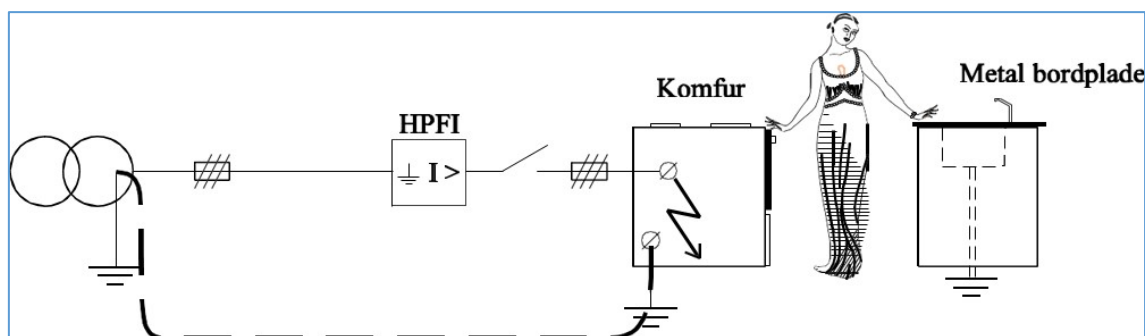
I forhold til SB6 413.1.2.1 er der ikke længere en generel tilladelse til at undlade at forbinde metalarmeringen i armeret betonkonstruktioner.

I SB6 131.2.2 var der en note "I forbindelse med beskyttelse mod indirekte berøring er brugen af potentialudligning et af de vigtige principper for at opnå sikkerhed".

Dette da alle udsatte dele og fremmedledende dele under fejl vil få næsten samme potentiale, hvorved der ikke kan løbe en farlig strøm igennem en person eller et dyr der har kontakt med f.eks. en udsat del og en fremmed ledende del.

Figur 9 viser en situation hvor en person berører en fejlramt brugsgenstand (komfur) og en fremmed ledende del (metal bordplade, der via metalvask og metal vandrør har naturlig forbindelse til jordpotentialet).

I dette tilfælde er komfur og metal bordpladen ikke udligningsforbundet.



Figur 1, fejlsituation hvor en person kan udsættes for en farlig potentialeforskel under fejl.

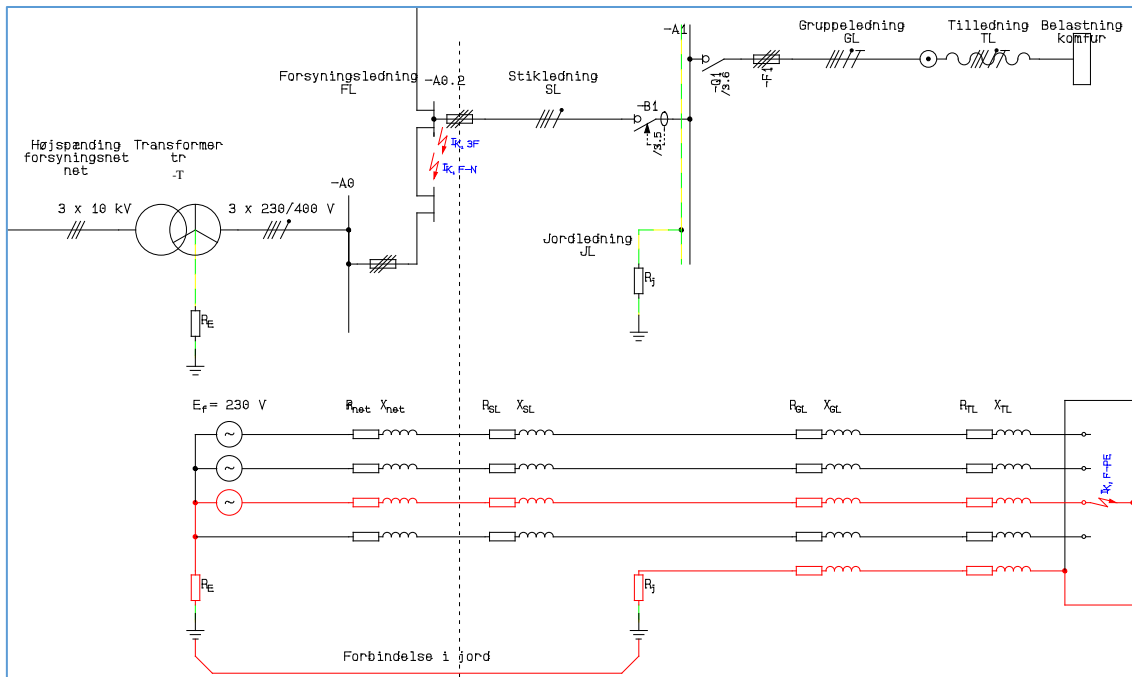
Potentialet på komfurets udsatte dele under fejl kan beregnes. Det elektriske kredsløb og ækvivalentdiagram fra figur 6 benyttes, hvorved det ændres til figur 10.

Figur 10 viser en situation hvor der opstår en fejl i komfuret.

Fasen L3 får forbindelse til komfurets kabinet (komfurets udsatte del), på ækvivalentdiagrammet er fejkredsen indtegnet med rødt.

Det kan ses at fejlstrømmen vil løbe igennem følgende impedanser begyndende ved spændingskilden (E_f): R_{net} , X_{net} , R_{SL} , X_{SL} , R_{GL} , X_{GL} , R_{TL} , X_{TL} , R_{TL} , X_{TL} , R_{GL} , X_{GL} , R_j og R_E .

Der er her set bort fra impedansen i jordledningen, forbindelsen fra el tavlens jordklemme til jordelektroden.



Figur 2, et elektrisk kredsløb og dens ækvivalentdiagram, tilsluttet i et kabelskab, under fejlforhold.

Følgende data for kredsløbet forudsættes:

Stikledningssikring 35 A

Stikledning 4X6 mm² NOIKLX, længde 14 m.

Gruppeledning 5G2,5 mm² NOIKLX, længde 8 m.

Tilledning 5G1,5 mm² PKAJ, H05VV-F, længde 1,5 m.

Overgangsmodstand til jord i jordelektroden ved den elektriske installation, $R_j = 40 \Omega$

Overgangsmodstand til jord i jordelektroden i transformerstationen, $R_E = 2 \Omega$

Da der her er tale om kortslutningsbeskyttelse med en smeltesikring, vil det med hensyn til kortslutningsbeskyttelse være den mindste kortslutningsstrøm der giver størst gennemslipsenergi fra smeltesikringen. Idet smeltetiden bliver forholdsvis stor.

Det er også den mindste kortslutningsstrøm der giver den længste tid, en farlig berøringsspænding kan stå på komfurets udsatte dele.

Jo længere tid sikringen er om at smelte, jo længere tid står den farlige berøringspænding og jo større er sandsynligheden for at en person bliver udsat for den farlige berøringspænding (tager fat i komfuret).

Det er til gengæld den største kortslutningsstrøm der giver den største berøringspænding.

Ved beregning af berøringsstrømmen er der regnet med den mindste kortslutningsstrøm og dermed med den største impedans i kablerne.

Dimensionering

Beskyttelse mod elektrisk stød

$$\begin{aligned}
 I_{K,\min.kS} &= 5 \cdot I_{n.SLS} = 5 \cdot 35 = && 175 \text{ A} \\
 Z_{net.\max} &= \frac{U_f}{I_{K,\min.kS}} = \frac{230}{500} = && 1314 \text{ m}\Omega \\
 R_{net.\max} &= Z_{net.\max} \cdot \cos \varphi_{net.\min} = 1314 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0 = && 1314 \text{ m}\Omega \\
 X_{net.\max} &= \sqrt{Z_{net.\max}^2 - R_{net.\max}^2} = \sqrt{1314^2 - 1314^2} = && 0,0 \text{ m}\Omega \\
 \\
 R_{SL.\max} &= I_{SL} \cdot 1,5 \cdot r_{SL} = 14 \cdot 1,5 \cdot 3,08 \cdot 10^{-3} = && 64,7 \text{ m}\Omega \\
 X_{SL} &= I_{SL} \cdot x_{SL} = 14 \cdot 0,08 \cdot 10^{-3} = && 1,12 \text{ m}\Omega \\
 \\
 R_{GL.\max} &= I_{GL} \cdot 1,5 \cdot r_{GL} = 8 \cdot 1,5 \cdot 7,41 \cdot 10^{-3} = && 88,9 \text{ m}\Omega \\
 X_{GL} &= I_{GL} \cdot x_{GL} = 8 \cdot 0,08 \cdot 10^{-3} = && 0,64 \text{ m}\Omega \\
 \\
 R_{TL.\max} &= I_{TL} \cdot 1,5 \cdot r_{TL} = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 13,3 \cdot 10^{-3} = && 29,9 \text{ m}\Omega \\
 X_{TL} &= I_{TL} \cdot x_{TL} = 1,5 \cdot 0,08 \cdot 10^{-3} = && 0,12 \text{ m}\Omega \\
 \\
 \Sigma R_{\max} &= R_{net.\max} + R_{SL.\max} + 2 \cdot R_{GL.\max} + 2 \cdot R_{TL.\max} + R_j + R_E \\
 &= 1,314 + 0,0647 + 2 \cdot 0,0889 + 2 \cdot 0,0299 + 40 + 2 = && 43,6 \text{ }\Omega \\
 \Sigma X &= X_{net.\max} + X_{SL.\max} + 2 \cdot X_{GL.\max} + 2 \cdot X_{TL.\max} \\
 &= 0 + (1,12 + 2 \cdot 0,64 + 2 \cdot 0,12) \cdot 10^{-3} = && 2,64 \text{ m}\Omega \\
 \Sigma Z_{\max} &= \sqrt{\Sigma R_{\max}^2 + \Sigma X^2} = \sqrt{43,6^2 + (2,64 \cdot 10^{-3})^2} = && 43,6 \Omega \\
 \\
 I_{K.F-PE.\min} &= \frac{U_f}{\Sigma Z_{\max}} = \frac{230}{43,6} = && 5,27 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Formel 1, beregning af mindste kortslutningsstrøm ved fejl på brugsgenstand.

Af formel 4, ses det at den reaktive impedans ingen indflydelse har på kortslutningsstrømmens størrelse i dette eksempel, idet ΣR_{\max} og ΣZ_{\max} er lige store. Den tekniske rapport DS/CLC/TR 50 480 anfører at for tværsnit under 25 mm² kan man se bort fra den reaktive reaktans, X.

Det er normalt at placere 16 A sikringer foran et komfur, en fejlstrøm ($I_{K.F-PE.\min}$) på 5,27 A vil ikke få sikringen til at smelte på noget tidspunkt.

Selv en maksimal kortslutningsstrøm vil ikke få sikringen til at smelte, da det er de to overgangsmodstande til jord (R_j og R_E) der er de dominerende impedanser.

Berøringsspændingen med den minimale kortslutningsstrøm bliver:

Dimensionering

Beskyttelse mod elektrisk stød

$$\Sigma R_{be} = R_j + R_E + R_{GL,max} + R_{TL,max} = 40 + 2 + (0,0889 + 0,0299) \cdot 10^{-3} = 42,1 \Omega$$

$$\Sigma X_{be} = X_{GL,max} + X_{TL,max} = (0,64 + 0,12) \cdot 10^{-3} = 0,76 \text{ m}\Omega$$

$$\Sigma Z_{be} = \sqrt{\Sigma R_{be}^2 + \Sigma X_{be}^2} = \sqrt{42,1^2 + (0,76 \cdot 10^{-3})^2} = 42,1 \Omega$$

$$U_{be} = I_{K.F-PE,min} \cdot \Sigma Z_{be} = 5,27 \cdot 42,1 = 222 \text{ V}$$

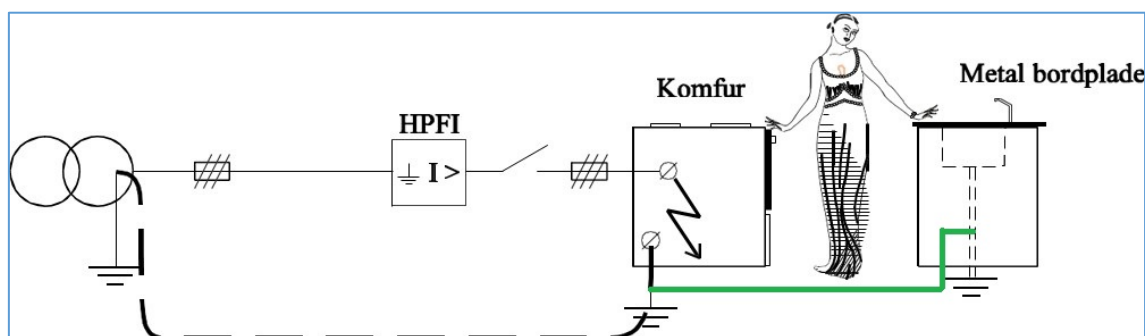
Formel 2, beregning af berøringsspændingen, uden beskyttende potentialudligning.

Berøringsspændingen (U_{be}) bliver her 222 V idet metal bordpladen sættes til jordpotentiale der 0 V.

Under meget uheldige forhold kan metal bordpladen have et andet potentiale, f.eks. hvis naboen har en fejl på en anden fase end L3, i sådan et tilfælde kan berøringsspændingen nærme sig 400 V.

Da vi normalt betragter 50 V ac for den maksimale spænding en person kan udsættes for uden at tage skade, ses det at 222 V er alt for stor en spænding at udsætte en person for.

Udføres der beskyttende potentialudligning, således at vandrørerne er forbundet til el tavlens jordklemme, som vist på figur 11 med grønt fås en meget lavere berøringsspænding.



Figur 3, fejlsituation hvor en person ikke udsættes for en farlig potentialeforskel under fejl.

$$\Sigma R_{be} = R_{GL,max} + R_{TL,max} = (0,0889 + 0,0299) \cdot 10^{-3} = 118,8 \text{ m}\Omega$$

$$\Sigma X_{be} = X_{GL,max} + X_{TL,max} = (0,64 + 0,12) \cdot 10^{-3} = 0,76 \text{ m}\Omega$$

$$\Sigma Z_{be} = \sqrt{\Sigma R_{be}^2 + \Sigma X_{be}^2} = \sqrt{(118,8 \cdot 10^{-3})^2 + (0,76 \cdot 10^{-3})^2} = 118,8 \text{ m}\Omega$$

$$U_{be} = I_{K.F-PE,min} \cdot \Sigma Z_{be} = 5,27 \cdot 118,8 \cdot 10^{-3} = 0,627 \text{ V}$$

Formel 3, beregning af berøringsspændingen, med beskyttende potentialudligning

Formel 6 viser beregning af berøringsspændingen når der er udført beskyttende potentialudligning.

Det kan ses at her bliver berøringsspændingen så lav at den er ufarlig for personer og dyr.

Man kunne forledes til at tro at denne fejl kunne blive stående uden at skabe farlige situationer, men der hvor udstrækningen af den beskyttende potentialudligning stopper, normalt udstrækningen af bygningens fundament, vil der i overgangen til neutral jord være potentiale forskel, her kan der evt. opstå farlige skridtspændinger.

Fejlbeskyttelse.

For at undgå at disse berørings- og skridtspændinger står i for lang tid, er der i standarden krav om automatisk afbrydelse af forsyningen.

Dette kan udføres med RCD'er, alternativt med overbelastningsbeskyttelse (bl.a. smeltesikringer og automatsikringer).

I pkt. 411.3.2.1 angives det at den tid en fejlstrøm må stå for en gruppe, ≤ 32 A, der forsyner fastmonteret materiale og for en gruppe, ≤ 63 A, der forsyner stikkontakter, ikke må overstige tiderne i tabel 41.1.

For en normal 3x230/400 V installation i et TT-system vil det være 0,2 s.

Tiden må dog sættes op til 0,4 s, hvis den beskyttende potentialudligning er forbundet til alle fremmede ledende dele i installationen.

For øvrige grupper tillades en udløsetid på 1 s, pkt. 411.3.2.4.

Når disse tider kendes, kan man beregne den maksimale overgangsmodstand til jord for jordelektroden i den elektriske installation.

Anvendes der RCD (fejlstrømsafbryder), er det pkt. 411.5.3 der angiver reglerne for overgangsmodstanden til jord for jordelektroden i den elektriske installation. Ifølge standarden for RCD'er skal RCD'en koble ud indenfor 0,3 s ved en fejlstrøm på størrelse med dens $I_{\Delta n}$ og indenfor 0,04 s ved $5 \cdot I_{\Delta n}$.

Ifølge pkt. 411.53 note 4 skal udløsetiden i henhold til tabel 41.1 (0,2 s) sammenholdes med udløsetiden for RCD'en ved $5 \cdot I_{\Delta n}$ (0,04 s). En velfungerende RCD vil således opfylde kravet i standarden.

Opsættes der en RCD med $I_{\Delta n} = 30$ mA bliver den maksimale overgangsmodstand til jord, R_j , som vist i formel 7.

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V} \rightarrow R_A \leq \frac{50 \text{ V}}{I_{\Delta n}} = \frac{50}{0,03} \sim 1666 \Omega$$

$$R_j \leq R_A - R_{GL.\max} - R_{TL.\max} \\ \leq 1666 - 0,0889 - 0,0299 \sim 1666 \Omega$$

Formel 4, beregning af R_j ved brug af RCD.

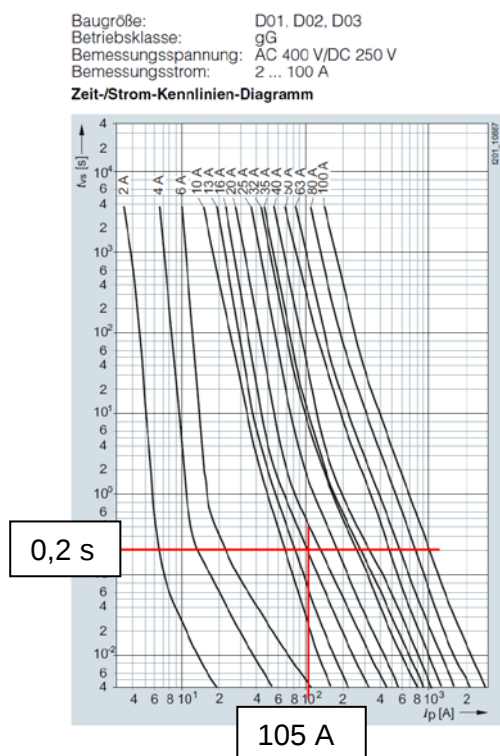
Der er normalt ingen problemer i at opnå en bedre overgangsmodstand til jord for en jordelektrode end 1666 Ω i Danmark.

Ønsker man at anvende overbelastningsbeskyttelsesudstyr til fejlbeskyttelse, er det ud over tidskravet i pkt. 411.3.2.2 eller 411.3.2.4, pkt. 411.5.4 der skal følges.

Betingelsen i pkt. 411.5.4 er ny i forhold til SB6, her var reglerne for beregning af R_A det samme ved brug af overbelastningsbeskyttelses udstyr og RCD.

Tiden for overbelastningsbeskyttelsesudstyret var i SB6 5 s.

Tages der udgangspunkt i det foranstående eksempel og at komfurgruppen beskyttes med en 16 A smeltesikring, kan den minimale kortslutningsstrøm findes i smeltesikringens smeltekurve ud fra tiskravet på 0,2 s.



Figur 4, minimal kortslutningsstrøm for 16 A smeltesikring.

På figur 12 kan den minimale kortslutningsstrøm for en 16 A smeltesikring aflæses til 105 A.

Herefter kan den maksimale overgangsmodstand til jord for jordelektroden i den elektriske installation beregnes i henhold til pkt. 411.5.4 $Z_s \cdot I_a \leq U_0 \rightarrow Z_s \leq \frac{U_f}{I_{K.min.16A}}$.

Der er i følgende beregning set bort fra de reaktive impedanser.

$$Z_{s,max} = \frac{U_f}{I_{K.min.16A}} = \frac{230}{105} = 2,19 \Omega$$

$$R_j \leq Z_{s,max} - R_{net,max} - R_{SL,max} - 2 \cdot R_{GL,max} - 2 \cdot R_{TL,max} - R_E$$

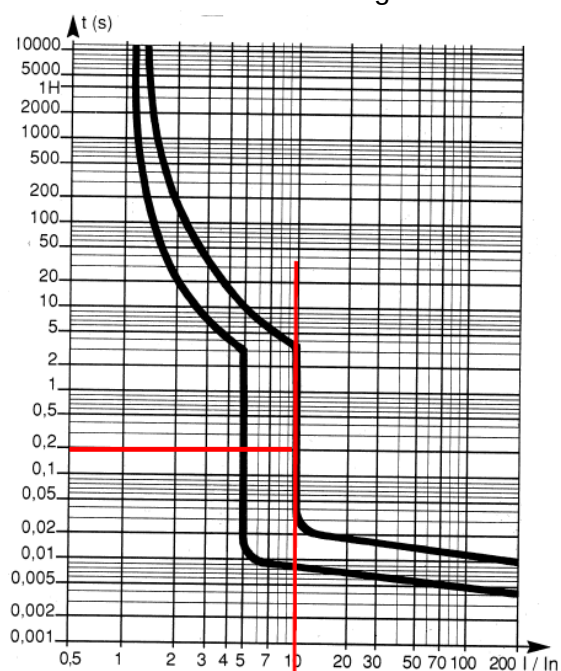
$$\leq 2,19 - 1,314 - 0,0647 - 2 \cdot 0,0889 - 2 \cdot 0,0299 - 2 = -1,4 \Omega$$

Formel 5, beregning af maksimal overgangsmodstand til jord, R_j .

At beregningen af den maksimale overgangsmodstand til jord i den elektriske installation i formel 8 giver et negativt tal betyder at der allerede er brugt større modstand i kredsløbet end der er tilladt.

Da der for hele kredsen, Z_s , kun må være $2,19 \Omega$, vil det i dette tilfælde nødvendigt at forhøre sig hos netselskabet om de kan sænke overgangsmodstanden til jord ved transformerstationen. Selv hvis dette skulle være muligt, skal man ned på så lav en overgangsmodstand til jord i den elektriske installation at det vil være meget bekosteligt.

Udskiftes den 16 A smeltesikring med en 16 A automatsikring med C-karakteristik bliver den minimale kortslutningsstrøm $10 \cdot 16 = 160 \text{ A}$, som vist på figur 13.



Figur 5, minimal kortslutningsstrøm for automatsikring med C-karakteristik.

Ved en minimal kortslutningsstrøm på 160 A, skal impedansen i fejlkredsen, Z_s , være m